

MODEL PERDAGANGAN ANTAR NEGARA BERDASARKAN AKUMULASI MODAL

DAYAT²⁾, E.H. NUGRAHANI¹⁾, DAN R. BUDIARTI¹⁾

¹⁾Departemen Matematika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, IPB
Jl Meranti, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680 Indonesia

²⁾Mahasiswa Program S2 Matematika Terapan
Sekolah Pascasarjana, IPB
Jl Meranti, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680 Indonesia

Abstrak : Model perdagangan antarnegara dikembangkan untuk mengkaji kemungkinan terjadinya pola perdagangan antarnegara dengan perbedaan preferensi, fungsi produksi, dan perpindahan modal internasional secara sempurna. Konsumsi dan tabungan diturunkan dari optimasi fungsi utilitas. Ditunjukkan bagaimana perbedaan preferensi dan fungsi produksi dapat berpengaruh pada arah perdagangan dalam sistem dinamik. Hasil analisis disimpulkan bahwa pada saat ekuilibrium sistem dinamik memiliki solusi tunggal. Hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan tingkat teknologi dari suatu negara berpengaruh pada peningkatan cadangan modal keseluruhan, cadangan modal dan tingkat produksi negaratersebut. Peningkatan tingkat kecenderungan untuk menabung suatu negara mengakibatkan peningkatan cadangan modal dan pengurangan penggunaan modal asing atau peningkatan pemberian modal kepada negara asing.

Kata kunci : model perdagangan, akumulasi modal, ekuilibrium, tingkat produksi, tingkat teknologi.

1. PENDAHULUAN

Perdagangan luar negeri timbul karena pada hakekatnya tidak ada satu negara pun di dunia ini yang dapat menghasilkan semua barang dan jasa untuk memenuhi kebutuhan seluruh penduduk. Walaupun berbagai kebutuhan penduduk bisa dihasilkan di dalam negeri, tetapi dalam banyak hal sering lebih murah mengimpor barang-barang yang diperlukan dari luar negeri daripada harus dihasilkan sendiri di dalam negeri.

Perdagangan antar negara mengakibatkan terjadinya perpindahan modal antar negara. Perpindahan modal khususnya untuk investasi langsung, diawali dengan adanya perdagangan internasional. Ketika terjadi perdagangan antar negara yang berupa ekspor dan impor, akan memunculkan kemungkinan untuk memindahkan

tempat produksi. Jika biaya produksi di negara eksportir lebih besar dari biaya produksi di negara importir, maka investor akan memindahkan lokasi produksinya di negara importir. Perdagangan antar negara, dalam hal ini adalah ekspor, impor, dan aliran dana antar negara merupakan mesin bagi pertumbuhan ekonomi (*trade as engine of growth*). Jika aktifitas perdagangan internasional adalah ekspor dan impor, maka salah satu dari komponen tersebut atau keduanya dapat menjadi motor penggerak bagi pertumbuhan ekonomi

Pengembangan model perdagangan antar negara penting untuk mengkaji kasus yang mungkin untuk terjadinya pola perdagangan antar negara dengan perbedaan preferensi dan fungsi produksi serta perpindahan modal internasional secara sempurna (Zhang 1994).

Tulisan ini bertujuan untuk (1) menganalisis model perdagangan antar negara berdasarkan akumulasi modal, (2) menentukan solusi ekuilibrium dari model, dan (3) membuat simulasi dari model tersebut.

2. MODEL PERDAGANGAN ANTAR NEGARA

2.1. Asumsi dan Definisi: Misalkan sebuah sistem ekonomi terdiri atas n negara, masing-masing dengan indeks $1, 2, \dots, n$. Beberapa asumsi umum adalah, hanya satu komoditas yang diproduksi dalam sistem, komoditas terdiri atas kualitas yang homogen, dan diproduksi dengan memanfaatkan dua faktor produksi yaitu tenaga kerja dan modal. Kompetisi sempurna berlaku di pasar, baik dalam setiap negara maupun antar negara, dan komoditas diperdagangkan tanpa beberapa hambatan seperti biaya transportasi. Tidak ada perpindahan tenaga kerja antar negara dan pasar tenaga kerja berkompetisi sempurna di dalam negeri. Harga komoditi diasumsikan bernilai satu unit sehingga tingkat output diukur dalam tingkat produksi komoditas. Tingkat suku bunga sama di seluruh dunia, $r(t) = r_j(t)$.

Untuk menggambarkan model tersebut, didefinisikan:

- banyaknya angkatan kerja;
- total cadangan modal (*capital stocks*) pada waktu t ;
- tingkat teknologi negara ke- j ;
- tingkat output sektor produksi negara ke- j pada waktu t ;
- tingkat cadangan modal sektor produksi negara ke- j pada waktu t ;
- angkatan kerja yang dipekerjakan sektor produksi negara ke- j ;
- tingkat konsumsi di negara ke- j pada waktu t ;
- tingkat tabungan di negara ke- j pada waktu t ;
- pendapatan bersih di negara ke- j pada waktu t ;
- tingkat suku bunga pada waktu t ;
- tingkat upah di negara ke- j pada waktu t ;
- tingkat persediaan modal asing di negara ke- j pada waktu t .

2.2. Produksi dan Akumulasi Modal: Misalkan fungsi produksi negara ke- j dinyatakan sebagai berikut

$$F_j(t) = Z_j \left(K_j(t) + E_j(t) \right)^{\alpha_j} N_j^{\beta_j}, \quad \alpha_j, \beta_j > 0, \alpha_j + \beta_j = 1, j = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

modal luar negeri di negara ke- j dinotasikan E_j , memenuhi persamaan berikut

$$\sum_{j=1}^n E = 0, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (2)$$

Pasar untuk tenaga kerja dan barang-barang (*goods*) bersifat kompetitif sehingga tenaga kerja dan modal memperoleh produk marginal (*marginal product*) mereka. Tingkat suku bunga, $r(t)$, dan tingkat upah, $w_j(t)$ ditentukan oleh pasar.

Kondisi marginal (*marginal condition*) dinyatakan dengan:

$$\begin{aligned} r(t) + \delta_k &= \alpha_j Z_j \left(K_j(t) + E_j(t) \right)^{-\beta_j} N_j^{\beta_j}, \\ w_j(t) &= \beta_j Z_j \left(K_j(t) + E_j(t) \right)^{\alpha_j} N_j^{-\alpha_j}, \quad j = 1, 2, \dots, n, \end{aligned} \quad (3)$$

atau dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan berikut

$$r(t) + \delta_k = \frac{\alpha_j F_j}{K_j + E_j}, \quad w_j(t) = \frac{\beta_j F_j}{N_j}, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (4)$$

di mana δ_k adalah depresiasi modal fisik (*depreciation rate of physical capital*).

Untuk menggambarkan perilaku konsumen, konsumen negara ke- j memperoleh pendapatan

$$Y_j(t) = r(t)K_j(t) + w_j(t)N_j, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

dari pembayaran bunga, $r(t)K_j(t)$, dan pembayaran upah, $w_j(t)N_j$. Pendapatan yang siap dibelanjakan (*disposable income*) diberikan oleh

$$T_j(t) = Y_j(t) + K_j(t) = r(t)K_j(t) + w_j(t)N_j + K_j(t), \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (6)$$

Pendapatan *disposable* digunakan untuk tabungan dan konsumsi. Pada setiap titik waktu, konsumen mendistribusikan seluruh anggaran yang tersedia untuk tabungan, $S_j(t)$ dan konsumsi barang, $C_j(t)$. Kendala pembiayaan diberikan oleh

$$T_j(t) = C_j(t) + S_j(t), \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (7)$$

Diasumsikan bahwa tingkat kegunaan (*utility level*) di negara ke- j , $U_j(t)$, bergantung kepada tingkat konsumsi negara tersebut, $C_j(t)$, dan tabungan, $S_j(t)$. Fungsi kegunaan (*utility function*) dinyatakan sebagai berikut

$$U_j(t) = C_j^{\xi_j}(t) S_j^{\lambda_j}(t), \quad \xi_j, \lambda_j > 0, \quad \xi_j + \lambda_j = 1, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (8)$$

dengan ξ_j adalah kecenderungan negara ke- j untuk mengkonsumsi barang-barang dan λ_j adalah kecenderungan negara ke- j untuk menabung. Solusi dari optimasi fungsi utilitas pada persamaan (8) dengan kendala pembiayaan pada persamaan (7) adalah tunggal, yaitu:

$$C_j(t) = \xi_j T_j(t), \quad S_j(t) = \lambda_j T_j(t), \quad (9)$$

Akumulasi modal pada negara ke- j diberikan oleh

$$\dot{K}_j(t) = S_j(t) - K_j(t), \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (10)$$

dengan mensubstitusikan S_j dalam persamaan (9) ke persamaan (10) menghasilkan

$$\dot{K}_j(t) = \lambda_j T_j(t) - K_j(t), \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (11)$$

kemudian dengan mensubstitusikan persamaan (6) pada persamaan (11) menghasilkan

$$\dot{K}_j = \lambda_j Y_j - \xi_j K_j, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (12)$$

Persamaan (12) merupakan sistem persamaan diferensial n -dimensi dengan n variabel endogen $K_1, K_2, K_3, \dots, K_n$.

2.3. Perilaku Sistem Dinamik pada Perekonomian Dua Negara:

Perdagangan internasional atau perdagangan antar negara yang paling sederhana adalah perdagangan yang dilakukan oleh hanya dua negara. Berikut akan diperiksa perilaku ekonomi dunia ketika ekonomi dunia hanya terdiri dari dua negara. Ketika sistem terdiri dari hanya dua negara, persediaan modal asing yang digunakan oleh satu negara selalu milik negara lain, yaitu $E_1 = -E_2$ atau $E_2 = -E_1$. Untuk menyederhanakan ekspresi dituliskan $E = E_1$. Ketika $E > 0$, artinya negara 1 menggunakan modal negara 2, sedangkan jika $E < 0$, artinya negara 2 menggunakan modal negara 1.

Diasumsikan kompetisi sempurna di pasar internasional sehingga ekonomi dunia memiliki tingkat suku bunga yang sama. Dari kondisi tingkat suku bunga pada persamaan (4) dinyatakan

$$r_1 = r_2 \Leftrightarrow \frac{\alpha_1 F_1}{K_1 + E} = \frac{\alpha_2 F_2}{K_2 - E},$$

sehingga diperoleh

$$K_2 - E = v(K_1 + E)^\theta \quad (13)$$

di mana

$$v \equiv \left(\frac{\alpha_2 Z_2}{\alpha_1 Z_1} \right)^{\frac{1}{\theta_2}} \frac{N_2}{N_1^{\theta}}, \theta \equiv \frac{\beta_1}{\beta_2} \leq 1$$

Misalkan x adalah persediaan modal yang digunakan oleh negara 1, yaitu $x \equiv K_1 + E$. Modal dunia sama dengan jumlah persediaan modal yang dimiliki oleh kedua negara yaitu, $K = K_1 + K_2$, sehingga diperoleh

$$K_2 - E = K - K_1 - E = K - x \quad (14)$$

Substitusi persamaan (14) pada persamaan (13), memberikan persamaan sebagai berikut

$$\Phi(x) = x + vx^\theta - K = 0, \quad 0 < x < K. \quad (15)$$

Fungsi Φ dalam persamaan (15) mempunyai sifat berikut:

1. $\Phi(0) < 0$,
2. $\Phi(K) > 0$,
3. $\frac{d\Phi}{dx} > 0$,

ini berimplikasi bahwa persamaan (15) memiliki solusi positif yang khas, $x = \Lambda(K) > 0$. Persamaan ini menunjukkan bahwa untuk beberapa tingkat pemberian modal dunia jumlah modal yang digunakan oleh negara 1 dapat

ditentukan secara khas setiap titik waktu. Dari definisi $x = K_1 + E$, E dapat diselesaikan sebagai fungsi khusus dari K_1 sebagai berikut

$$E = \Lambda(K) - K_1, \quad (16)$$

selanjutnya $\Lambda(K) = \Lambda$.

Pendapatan negara ke- j dapat ditentukan dengan mensubstitusikan persamaan (16) dan r, w_j pada persamaan (3) ke persamaan (5), yaitu

$$\begin{aligned} Y_1(K_1, K_2) &= \frac{\alpha_1 K_1 Z_1 + \beta_1 Z_1 \Lambda}{\Lambda(K)^{\beta_1}} N_1^{\beta_1} - \delta_k K_1, \\ Y_2(K_1, K_2) &= \frac{\alpha_2 K_2 Z_2 + \beta_2 Z_2 K - \beta_2 Z_2 \Lambda}{(K - \Lambda)^{\beta_2}} N_2^{\beta_2} - \delta_k K_2 \end{aligned} \quad (17)$$

Persamaan (17) menyatakan bahwa pendapatan dari tiap negara dapat ditentukan dari persediaan modal yang dimiliki kedua negara setiap waktu. Pada persamaan (17) E tidak lagi berpengaruh, alasannya karena tingkat suku bunga yang sama dan teknologi serta angkatan kerja tertentu di setiap negara akan dapat menentukan E sebagai fungsi K_1 dan K_2

Untuk memeriksa sifat dinamik dari sistem, pertama diperiksa apakah sistem memiliki ekuilibrium. Ekuilibrium dari sistem perdagangan pada persamaan (12) menggambarkan solusi dari dua persamaan berikut

$$\dot{K}_j = 0 \Leftrightarrow \lambda_j Y_j = \xi_j K_j, \quad j = 1, 2. \quad (18)$$

Dari persamaan (17) dan (18) cadangan modal masing-masing negara (K_j) dapat diselesaikan sebagai fungsi dari K berikut ini

$$K_1 = \frac{\beta_1 \Lambda}{\varphi_1(\Lambda)}, \quad K_2 = \frac{\beta_2 v \Lambda^\theta}{\varphi_2(\Lambda)} \quad (19)$$

dengan

$$\varphi_1(\Lambda) = \frac{\delta_1 \Lambda^{\beta_1}}{\lambda_1 Z_1 N_1^{\beta_1}} - \alpha_1, \quad \varphi_2(\Lambda) = \frac{\delta_2 v \Lambda^{\beta_2}}{\lambda_2 Z_2 N_2^{\beta_2}} - \alpha_2, \quad (20)$$

dimana $\delta_j \equiv \delta_k \lambda_j + \xi_j$, $j = 1, 2$.

Persamaan (15) dan (19) menghasilkan

$$\Phi^*(\Lambda) = \frac{\beta_1}{\varphi_1(\Lambda)} + \frac{\beta_2 v \Lambda^{\theta-1}}{\varphi_2(\Lambda)} - 1 - v \Lambda^{\theta-1} = 0, \quad (21)$$

dimana digunakan $K = K_1 + K_2$ dan $K = \Lambda + v \Lambda^\theta$. Dapat dilihat bahwa persamaan di atas dengan jelas hanya mengandung variabel tunggal, Λ . Jika Λ dapat diselesaikan sebagai fungsi parameter dari persamaan di atas, maka dari $\Lambda = \Lambda(K)$ dapat diperoleh penyelesaian K .

2.4. Perilaku Sistem Dinamik pada Perekonomian Tiga Negara: Di dalam model diasumsikan tingkat suku bunga dalam setiap negara di persamaan (4) adalah sama sehingga diperoleh

$$r_1 = r_j \Leftrightarrow \frac{\alpha_1 F_1}{K_1 + E_1} = \frac{\alpha_j F_j}{K_j + E_j}, \quad j = 2, 3$$

karenanya

$$K_j + E_j = v_j (K_1 + E_1)^{\theta_j}, \quad j = 1, 2, 3 \quad (22)$$

di mana

$$v_j = \left(\frac{\alpha_j Z_j}{\alpha_1 Z_1} \right)^{\frac{1}{\beta_j}} \frac{N_j}{N_1^{\theta_j}}, \quad \theta_j = \frac{\beta_1}{\beta_j} \leq 1, \quad j = 1, 2, 3,$$

dengan $\theta_1 = v_1 = 1$.

Misalkan x adalah persediaan modal yang digunakan oleh negara 1, yaitu $x \equiv K_1 + E_1$ kemudian substitusikan pada persamaan (22), sehingga diperoleh

$$K_j + E_j = v_j x^{\theta_j}, \quad j = 1, 2, 3. \quad (23)$$

Dengan menjumlahkan persamaan (23) dan menggunakan persamaan (2), akan diperoleh persamaan berikut

$$\Phi(x) = \sum_{j=1}^3 v_j x^{\theta_j} - K = 0, \quad 0 < x < K,$$

atau dapat dinyatakan dalam persamaan berikut

$$\Phi(x) = x + v_2 x^{\theta_2} + v_3 x^{\theta_3} - K = 0, \quad 0 < x < K. \quad (24)$$

Fungsi Φ tersebut mempunyai sifat berikut:

1. $\Phi(0) < 0$,
2. $\Phi(K) > 0$,
3. $\frac{d\Phi}{dx} > 0$,

yang berimplikasi bahwa (24) memiliki solusi positif yang khas, $x = \Lambda(K) > 0$.

Persamaan ini menunjukkan bahwa untuk tingkat modal dunia tertentu jumlah modal usaha yang digunakan oleh negara 1 dapat ditentukan secara khas pada setiap titik waktu.

Dari persamaan (23), E_j dapat diselesaikan sebagai fungsi khusus dari K_j sebagai berikut

$$E_j = v_j \Lambda(K)^{\theta_j} - K_j, \quad j = 1, 2, 3. \quad (25)$$

Tingkat modal asing dapat ditetapkan sebagai fungsi modal dunia $\Lambda(K)$ dan cadangan modal yang dimiliki oleh negara ke- j , selanjutnya $\Lambda(K) = \Lambda$.

Substitusi persamaan (25), r dan w_j pada persamaan (3) ke dalam (5) diperoleh

$$\begin{aligned} Y_1(K_1, K_2, K_3) &= \frac{\alpha_1 Z_1 K_1 + \beta_1 Z_1 \Lambda}{\Lambda^{\beta_1}} N_1^{\beta_1} - \delta_k K_1, \\ Y_2(K_1, K_2, K_3) &= \frac{\alpha_2 Z_2 K_2 + \beta_2 Z_2 \Lambda^{\theta_2}}{v_2^{\beta_2} \Lambda^{\beta_1}} N_2^{\beta_2} - \delta_k K_2, \\ Y_3(K_1, K_2, K_3) &= \frac{\alpha_3 Z_3 K_3 + \beta_3 Z_3 \Lambda^{\theta_3}}{v_3^{\beta_3} \Lambda^{\beta_1}} N_3^{\beta_3} - \delta_k K_3, \end{aligned} \quad (26)$$

Persamaan keadaan di atas menyatakan bahwa pendapatan dari tiap negara dapat ditentukan dari persediaan modal yang dimiliki oleh ketiga negara setiap waktu. Dapat dicatat bahwa modal asing E_j , tidak lagi menentukan pada persamaan pendapatan (26). Alasannya bahwa kondisi tingkat suku bunga yang sama dan teknologi serta angkatan kerja tertentu di setiap negara akan dapat menentukan E_j sebagai fungsi K_j .

Sistem persamaan dinamik pada persamaan (12) menentukan persediaan modal yang dimiliki oleh ketiga negara pada setiap titik waktu. Untuk memeriksa sifat dinamik dari sistem, pertama diperiksa apakah sistem memiliki ekuilibrium.

Ekuilibrium dari sistem perdagangan pada persamaan (12) menggambarkan solusi dari tiga persamaan berikut:

$$\dot{K}_j = 0 \Leftrightarrow \lambda_j Y_j = \xi_j K_j, \quad j = 1, 2, 3. \quad (27)$$

Dari persamaan (26) dan (27) cadangan modal masing-masing negara K_j dapat diselesaikan sebagai fungsi dari K berikut ini

$$K_1 = \frac{\beta_1 \Lambda}{\varphi_1(\Lambda)}, \quad K_2 = \frac{\beta_2 v_2 \Lambda^{\theta_2}}{\varphi_2(\Lambda)}, \quad K_3 = \frac{\beta_3 v_3 \Lambda^{\theta_3}}{\varphi_3(\Lambda)}, \quad (28)$$

di mana

$$\varphi_1(\Lambda) = \frac{\delta_1 \Lambda^{\beta_1}}{\lambda_1 Z_1 N_1^{\beta_1}} - \alpha_1, \quad \varphi_2(\Lambda) = \frac{\delta_2 v_2^{\beta_2} \Lambda^{\beta_1}}{\lambda_2 Z_2 N_2^{\beta_2}} - \alpha_2, \quad \varphi_3(\Lambda) = \frac{\delta_3 v_3^{\beta_3} \Lambda^{\beta_1}}{\lambda_3 Z_3 N_3^{\beta_3}} - \alpha_3$$

dengan $\delta_j \equiv \delta_k \lambda_j + \xi_j$, $j = 1, 2, 3$.

Dari persamaan (24) dan persamaan (28), maka diperoleh

$$\Phi^*(\Lambda) = \frac{\beta_1 \Lambda}{\varphi_1(\Lambda)} + \frac{\beta_2 v_2 \Lambda^{\theta_2}}{\varphi_2(\Lambda)} + \frac{\beta_3 v_3 \Lambda^{\theta_3}}{\varphi_3(\Lambda)} - (\Lambda + v_2 \Lambda^{\theta_2} + v_3 \Lambda^{\theta_3}) = 0, \quad (29)$$

di mana kita menggunakan $K = K_1 + K_2 + K_3$ dan $K = \Lambda + v_2 \Lambda^{\theta_2} + v_3 \Lambda^{\theta_3}$.

Dapat dilihat bahwa persamaan di atas dengan jelas hanya mengandung variabel tunggal, Λ . Jika Λ dapat diselesaikan sebagai fungsi parameter dari persamaan di atas, dari $\Lambda = \Lambda(K)$ dapat diperoleh K .

Prosedur pemecahan masalah ekuilibrium dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Menentukan nilai Λ ;
2. menentukan nilai K_j dan nilai K ;
3. menentukan nilai Y_j ;
4. menentukan nilai E_j ;
5. menentukan nilai F_j ;
6. menentukan nilai r dan w_j ;
7. menentukan C_j dan S_j .

3. SIMULASI MODEL

Pada bagian ini akan dibuat simulasi model pada saat ekuilibrium, yang akan menggambarkan pengaruh perubahan tingkat teknologi terhadap cadangan modal dan tingkat produksi.

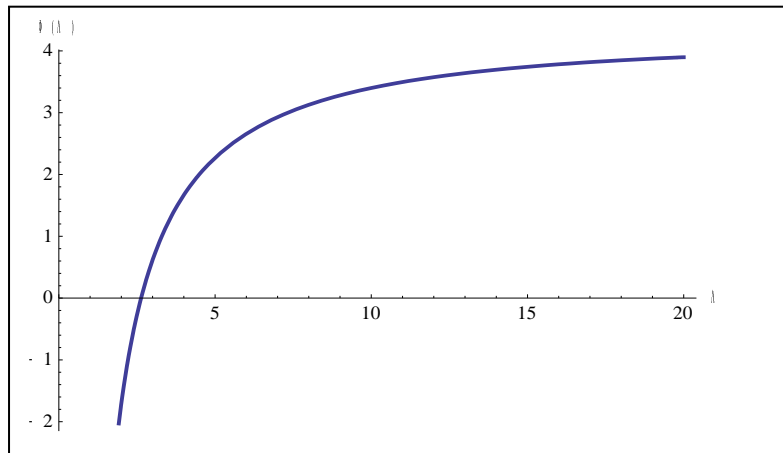
3.1. Kasus dua negara: Untuk simulasi model ini, besaran parameter model yang digunakan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Besaran parameter model

α_j	β_j	λ_j	ξ_j	Z_j	δ_k	N_j
0.45	0.55	0.45	0.55	0.20	0.15	100
0.40	0.60	0.30	0.70	0.75	0.15	110

Parameter-parameter pada Tabel 1 di atas menunjukkan bahwa kedua negara tidak identik satu sama lain kecuali dalam depresiasi modal (δ_k). Tingkat teknologi negara ke-1 jauh lebih rendah dibanding negara ke-2, kecenderungan mengkonsumsi barang negara ke-2 lebih tinggi dari negara ke-1, kecenderungan untuk menabung negara ke-1 lebih tinggi dari negara ke-2.

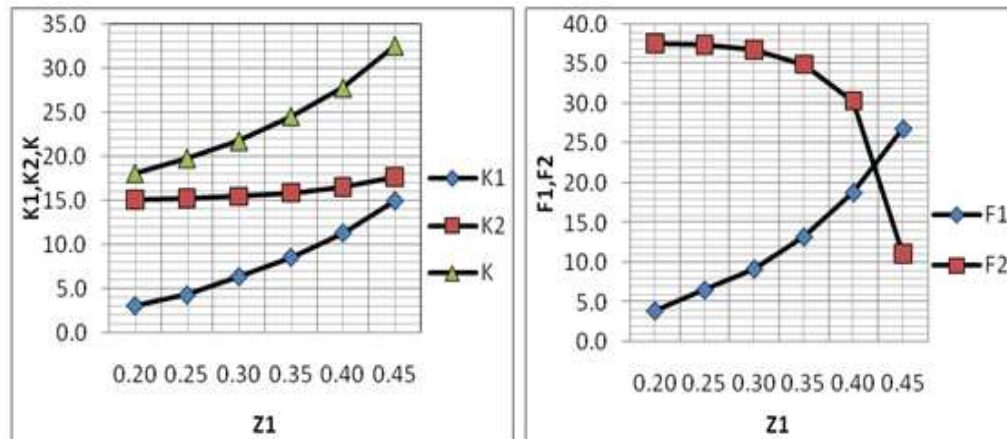
Solusi dari persamaan $\Phi^*(\Lambda) = \frac{\beta_1}{\varphi_1(\Lambda)} + \frac{\beta_2 v \Lambda^{\theta-1}}{\varphi_2(\Lambda)} - 1 - v \Lambda^{\theta-1}$ diselesaikan secara numerik dengan menggunakan *Software Mathematica 7.0*. Selanjutnya diperoleh nilai Λ yang tunggal, yaitu $\Lambda = 2,635$, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.

Gambar 1 Nilai cadangan modal $\Lambda(K)$ pada saat ekuilibrium

Untuk melihat pengaruh perubahan tingkat teknologi terhadap cadangan modal keseluruhan (K), cadangan modal dan tingkat produksi negara ke- j , dilakukan simulasi terhadap parameter Z_1 sedangkan nilai parameter yang lain diasumsikan tetap. Grafik perbandingan peningkatan tingkat teknologi (Z_1) terhadap cadangan modal keseluruhan (K), cadangan modal dan tingkat produksi negara ke- j diberikan pada Gambar 2.

Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa peningkatan tingkat teknologi akan menyebabkan peningkatan cadangan modal keseluruhan dan cadangan modal masing-masing negara. Peningkatan tingkat teknologi secara langsung akan menyebabkan meningkatnya *output* (produksi) dari masing-masing negara. Sebagai akibatnya maka pendapatan negara tersebut akan meningkat. Serta berdasarkan persamaan (17) dapat dilihat jika pendapatan masing-masing negara meningkat maka cadangan modal negara tersebut juga akan meningkat.

Dari hasil perhitungan secara numerik didapat $E < 0$, artinya negara ke-2 menggunakan modal negara ke-1 atau sebagai importir, sehingga ketika produksi negara ke-1 naik, maka produksi negara ke-2 akan turun.



Gambar 2 Grafik pengaruh peningkatan tingkat teknologi negara ke-1 terhadap modal dan tingkat produksi.

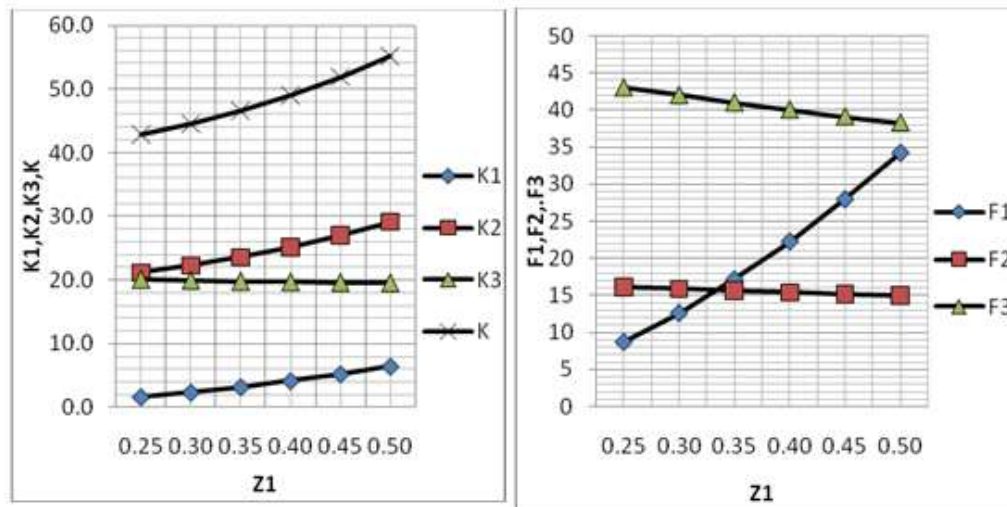
3.2. Kasus tiga negara: Untuk mensimulasikan model ini, terlebih dahulu ditentukan besaran parameter model sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

Tabel 4 Besaran parameter model.

j	α_j	β_j	λ_j	ξ_j	Z_j	δ_k	N_j
1	0,55	0,45	0,25	0,75	0,25	0,05	200
2	0,35	0,65	0,40	0,60	0,45	0,05	100
3	0,45	0,55	0,25	0,75	0,75	0,05	250

Parameter-parameter pada Tabel 2 di atas menunjukkan bahwa negara ke- j tidak identik satu sama lain kecuali dalam depresiasi modal fisik, tingkat teknologi negara ke-1 jauh dibawah negara ke-3. Solusi dari persamaan $\Phi^*(\lambda) = \frac{\beta_1 \lambda}{\varphi_1(\lambda)} + \frac{\beta_2 v_2 \lambda^{\theta_2}}{\varphi_2(\lambda)} + \frac{\beta_3 v_3 \lambda^{\theta_3}}{\varphi_3(\lambda)} - (\lambda + v_2 \lambda^{\theta_2} + v_3 \lambda^{\theta_3}) = 0$, diselesaikan secara numerik dengan menggunakan *Software Mathematica 7.0*. Selanjutnya diperoleh nilai λ yang tunggal, yaitu $\lambda = 8.380$. Dari hasil perhitungan secara numerik didapat $E_1 > 0$, $E_2 < 0$, $E_3 > 0$, artinya negara ke-1 dan negara ke-3 menggunakan modal negara ke-2 atau sebagai importir dan negara ke-2 sebagai eksportir, ini akibat dari kecenderungan mengkonsumsi barang negara ke-1 dan negara ke-3 lebih tinggi dibandingkan negara ke-2.

Untuk melihat pengaruh perubahan tingkat teknologi terhadap cadangan modal keseluruhan (K), cadangan modal dan tingkat produksi negara ke- j , dilakukan simulasi terhadap parameter Z_1 sedangkan nilai parameter yang lain dianggap tetap. Berikut adalah grafik perbandingan peningkatan tingkat teknologi (Z_1) terhadap cadangan modal keseluruhan (K), cadangan modal dan tingkat produksi negara ke- j .



Gambar 3 Grafik pengaruh peningkatan tingkat teknologi negara ke-1 terhadap modal dan tingkat produksi.

Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa peningkatan tingkat teknologi akan menyebabkan peningkatan cadangan modal keseluruhan dan cadangan modal negara ke-1 dan negara ke-2, tetapi menurunkan cadangan modal negara ke-3. Akibat menurunnya cadangan modal negara ke-3 menyebabkan turunnya tingkat produksi negara tersebut.

4. KESIMPULAN

Dari analisis model dan dari hasil simulasi, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. model perdagangan antar negara berdasarkan akumulasi modal ditentukan oleh sistem persamaan diferensial n dimensi;
2. pada saat ekuilibrium sistem dinamik memiliki solusi yang tunggal. Semua variabel-variabel endogen dapat diselesaikan dengan terlebih dahulu menentukan nilai cadangan modal negara ke-1;
3. dengan menggunakan solusi numerik, diperlihatkan bahwa peningkatan tingkat teknologi dapat meningkatkan cadangan modal keseluruhan, cadangan modal dari masing-masing negara, dan tingkat produksi negara tersebut, baik kasus model 2 negara maupun 3 negara.

DAFTAR PUSTAKA

- Chiang A.C., Wainwright K.** 2005. *Dasar-dasar matematika ekonomi*. Sudigno S, Nartanto, penerjemah; Jakarta: Erlangga Ed IV. Terjemahan dari: *Fundamental methods of mathematical economics*.
- Zhang, W.B.** 1994. *A Multi-Country Trade Model with Capital Accumulation*. International Economic Journal 8 : 53-66.
- Zhang, W.B.** 2005. *Differential Equations, Bifurcations, and Chaos in Economic*. World Scientific.
- Zhang, W.B.** 2008. *International Trade Theory – Capital, Knowledge, Economic Structure, Money, and Price Over Time*. Berlin: Springer.